

ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

Утверждено:
на заседании кафедры
протокол №5 от «12» января 2022 г.

Зав. кафедрой /Ковалева Л.А.



Согласовано:
Председатель УМК ФТИ



/ Балапанов М.Х.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

дисциплина Численное моделирование в геомеханике


Б1.В.ДВ.13.01 вариативная часть, дисциплина по выбору

программа бакалавриата

Направление подготовки (специальность)
03.03.01 Прикладные математика и физика

Направленность (профиль) подготовки
Моделирование физических процессов и технологий

Квалификация
Бакалавр

Разработчик (составитель) <u>доцент, канд. физ-мат. наук, доцент</u>	
-------------------------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------------------------------------

/ Мусин А.А.
(подпись, Фамилия И.О.)

Для приема: 2022
Уфа 2022г.

Составитель / составители: Мусин А.А.

Рабочая программа дисциплины утверждена на заседании кафедры протокол от «12» января 2022 г. №5

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры _____

_____, протокол № _____ от « ____ » _____ 20_г.

Заведующий кафедрой _____ / Ковалева Л.А./

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры _____

,

_____, протокол № _____ от « ____ » _____ 20_г.

Заведующий кафедрой _____ / Ковалева Л.А./

Дополнения и изменения, внесенные в рабочую программу дисциплины, утверждены на заседании кафедры _____

_____, протокол № _____ от « ____ » _____ 20_г.

Заведующий кафедрой _____ / Ковалева Л.А./

Список документов и материалов

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций
2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы
3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)
4. Фонд оценочных средств по дисциплине
 - 4.1. Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием соотнесенных с ними запланированных результатов обучения по дисциплине. Описание критериев и шкал оценивания результатов обучения по дисциплине.
 - 4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценивания результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.
5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины
 - 5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины
 - 5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы
6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций

По итогам освоения дисциплины обучающийся должен достичь следующих результатов обучения:

Категория (группа) компетенций ¹ (при наличии ОПК)	Формируемая компетенция (с указанием кода)	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине
	ПК-3. готовностью выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1. Знает как выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области;	Знать: геомеханические модели породного массива и численные методы решения задач геомеханики.
		ПК-3.2. Умеет выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области;	Уметь: применять подходящие методы решения задачи проводить численное моделирование геомеханических процессов.
		ПК-3.3. Владеет готовностью выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области;	Владеть навыками численного решения задач геомеханики с применением подходящих методов.

¹ Указывается только для УК и ОПК (при наличии).

2. Цель и место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина «Численное моделирование в геомеханике» относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, дисциплина по выбору.

Дисциплина изучается на 3 курсе в 5-6 семестрах.

Для освоения дисциплины необходимы компетенции, сформированные в рамках изучения следующих дисциплин: «Общая геология и геофизика», «Петрофизика и физика пласта», «Линейные и нелинейные уравнения математической физики», «Векторный и тензорный анализ», «Механика сплошных сред», «Численные методы и вычислительная математика», «Цифровые методы в физике».

Целью изучения дисциплины является приобретение студентами знаний и умений, необходимых для самостоятельного численного решения задач по оценке геомеханического состояния породного массива и горнотехнических объектов при освоении ресурсов недр.

3. Содержание рабочей программы (объем дисциплины, типы и виды учебных занятий, учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся)

Содержание рабочей программы представлено в Приложении № 1.

4. Фонд оценочных средств по дисциплине

4.1. Перечень компетенций и индикаторов достижения компетенций с указанием соотношенных с ними запланированных результатов обучения по дисциплине. Описание критериев и шкал оценивания результатов обучения по дисциплине.

Код и формулировка компетенции:

ПК-4 - способностью критически оценивать применимость применяемых методик и методов

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Критерии оценивания результатов обучения	
		Не зачтено	Зачтено
ПК-3.1. Знает как выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области;	Знать: геомеханические модели породного массива и численные методы решения задач геомеханики.	Имеет фрагментарные знания о геомеханических моделях и о методах решения задач	Знает основные сведения о геомеханических моделях породного массива и о численных методах решения задач геомеханики.
ПК-3.2. Умеет выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области;	Уметь: применять подходящие методы решения задачи проводить численное моделирование геомеханических процессов.	Не умеет применять методы решения задачи проводить численное моделирование геомеханических процессов.	Способен численно решать задачи геомеханики с применением подходящих методов.
ПК-3.3. Владеет готовностью выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы	Владеть навыками численного решения задач геомеханики с применением подходящих методов.	Не способен самостоятельно выполнять численное решение задач геомеханики с применением подходящих методов.	Самостоятельно численно решает задачи геомеханики с применением подходящих методов..

исследований для решения задач в избранной предметной области;			
----------------------------------------------------------------	--	--	--

4.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценивания результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с установленными в образовательной программе индикаторами достижения компетенций. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания результатов обучения по дисциплине.

Код и наименование индикатора достижения компетенции	Результаты обучения по дисциплине	Оценочные средства
ПК-3.1. Знает как выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области;	Знать: геомеханические модели породного массива и численные методы решения задач геомеханики.	<i>Индивидуальный, групповой опрос; собеседование;</i>
ПК-3.2. Умеет выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области;	Уметь: применять подходящие методы решения задачи проводить численное моделирование геомеханических процессов.	<i>лабораторные работы; отчет</i>
ПК-3.3. Владеет готовностью выбирать и применять	Владеть навыками численного решения задач геомеханики с применением подходящих методов.	<i>лабораторные работы; отчет</i>

подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области;		
--------------------------------------------------------------------------------------------------------------	--	--

Критериями оценивания являются баллы, которые выставляются преподавателем за виды деятельности (оценочные средства) по итогам изучения модулей (разделов дисциплины), перечисленных в рейтинг-плане дисциплины (*для зачета*: текущий контроль – максимум 50 баллов; рубежный контроль – максимум 50 баллов, поощрительные баллы – максимум 10).

Шкала оценивания:

для зачета:

зачтено – от 60 до 110 рейтинговых баллов (включая 10 поощрительных баллов),
не зачтено – от 0 до 59 рейтинговых баллов).

Рейтинг-план дисциплины (при необходимости)

Рейтинг–план дисциплины представлен в приложении 2.

Далее

Вопросы для зачета

Примерные вопросы

1. Что изучает геомеханика?
2. С какими науками связана геомеханика?
3. История развития геомеханики.
4. Описать характеристика породного массива.
5. Какие имеются структурно-механические особенности породного массива?
6. Описать неоднородность и анизотропию природного массива.
7. От чего зависит деформируемость породного массива?
8. Механические свойства породного массива и его образца.
9. Особенности механического состояния грунтовых массивов
10. Особенности минерального строения, сведения о классификации горных пород.
11. Деформационные и прочностные свойства горных пород.
12. Реологические свойства горных пород.
13. Деформирование и разрушение горных пород при объемном нагружении.
14. Общие сведения о геомеханических процессах и методы их изучения.

Оценочные средства для лабораторных работ и зачета:

Критерии оценки:

- 15 баллов выставляется студенту, если студент дал полные, развернутый ответ на теоретический вопрос, продемонстрировал знание функциональных возможностей, терминологии, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении лабораторных заданий. Студент без затруднений ответил на все дополнительные вопросы;

- 0-10 баллов выставляется студенту, если при ответе на теоретические вопросы студентом допущено несколько ошибок в толковании основных понятий. Логика и полнота ответа страдают заметными изъянами. Заметны пробелы в знании основных методов. Теоретические вопросы в целом изложены достаточно, но с пропусками материала. Имеются принципиальные ошибки в логике построения ответа на вопрос.

Задания для лабораторных работ

Лабораторная работа 1. Исследования поверхности образцов горных пород.

Даны изображения поверхностей образцов различных горных пород. Изучить структуру поверхности горных пород и определить их особенности. Провести цифровую обработку изображений и определить геометрические характеристики и структурные особенности поверхностей. По изображениям определить естественную микротрещиноватость поверхности образцов. Подготовить отчет по выполненной работе.

Лабораторная работа 2. Моделирование фильтрации жидкости через пористую среду.

Рассматривается течение вязкой несжимаемой жидкости в модели пористой среды под действием постоянного перепада давления. Смоделировать динамику изменения скорости и давления в жидкости. Сравнить стационарное и нестационарные распределения давления вдоль модели с аналитическим решением. Провести анализ результатов. Визуализация и анализ результатов проводится с помощью пакета Paraview. Результаты оформить в виде отчета.

Лабораторная работа 3. Моделирование напряженно-деформированного состояния пористой среды.

Рассматривается модель насыщенной пористой среды, в состоянии всестороннего сжатия. Смоделировать напряженно-деформированное состояние насыщенной пористой среды при изменении внешнего давления, в зависимости от свойств среды..

Лабораторная работа 4. Моделирование фильтрации в трещиноватых образцах.

Рассматривается течение вязкой несжимаемой жидкости в канале переменного сечения под действием постоянного перепада давления. Смоделировать динамику изменения скорости и давления в жидкости. Использовать решатель isoFoam. Изучить процесс формирования вихрей при изменении числа Рейнольдса. Провести анализ результатов. Визуализация и анализ результатов проводится с помощью пакета Paraview. Результаты оформить в виде отчета.

Критерии оценки:

- 15 баллов выставляется, если студент продемонстрировал знание функциональных возможностей, основных элементов, умение применять теоретические знания при выполнении лабораторной работы. Работа выполнена полностью, без существенных ошибок;

- 0-10 баллов выставляется, если студент продемонстрировал умение применять теоретические знания при выполнении лабораторной работы, однако при выполнении задания допущены несущественные ошибки.

5. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

5.1. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

Основная литература:

1. Хабибуллин И.Л. Физика сплошных сред в примерах и задачах: Учебное пособие. – Уфа: БашГУ, 2009. – 87с.
2. Нигматулин Р. И. Механика сплошной среды, Кинематика. Динамика. Термодинамика. Статистическая динамика / Р. И. Нигматулин.—Москва: ГЭОТАР-Медиа, 2014. – 640 с.
3. Николаевский В.Н. Геомеханика и флюидодинамика. - М.: Недра, 1996. - 447 с.
4. Аксаков, А.В. Современная геология нефтегазовых месторождений [Электронный ресурс]: методические рекомендации / А.В. Аксаков. — Уфа, 2013. — Электрон. версия печ. публикации. – 87 с.
5. Баклашов И.В. Геомеханика. Том 1. Основы геомеханики / Издательство Московского государственного горного университета, Москва, 2005 г., 208 с.
6. Баклашов И.В., Борисов В.Н., Картозия Б.А., Шашенко А.Н. Геомеханика. Том 2. Геомеханические процессы / Издательство Московского государственного горного университета, Москва, 2004 г., 249 с.
7. Зобак М.Д. Геомеханика нефтяных залежей. –М.–Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2018. –482 с.

Дополнительная литература:

1. OpenFOAM The Open Source CFD Toolbox User Guide // OpenFOAM Foundation Ltd. – 2018. – 166 с.
2. OpenFOAM The Open Source CFD Toolbox Programmer's Guide // OpenFOAM Foundation Ltd. – 2018. – 104 с.
3. Pastor M., Tamagnini C. Numerical modelling in geomechanics / London; Sterling, VA : Kogan Page Science, 2004.
4. Кукал З. Скорости геологических процессов. – М.: МИР, 1987. – 246 с.
5. Кулагин А.В., Мушин И.А., Павлова Т.Ю. Моделирование геологических процессов при интерпретации геофизических данных. / М.: Недра, 1994. – 250 с.
6. Замышляев Б.В., Евтерев Л.С. Модели динамического деформирования и разрушения грунтовых сред / М.: "Наука". - 1990. 215 с.
7. Фадеев А.Б. Метод конечных элементов в геомеханике / А.Б. Фадеев. – М.: Недра, 1987. – 221 с.
8. Aydan O. Continuum and computational mechanics for geomechanical engineers CRC Press, 2021 г. – 340 с.

5.2. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» и программного обеспечения, необходимых для освоения дисциплины, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы

1. www.openfoam.com – официальный сайт пакета OpenFOAM
2. www.cfd-online.com – сайт по CFD пакетам
3. <http://bluecfd.github.io> – BlueCFD - версия OpenFOAM для запуска на операционных системах Windows.
4. Федеральный портал «Российское образование» <http://www.edu.ru/>
5. Федеральное хранилище «Единая коллекция цифровых образовательных ресурсов» <http://school-collection.edu.ru/>
6. Российский портал «Открытого образования» <http://www.openet.edu.ru>

6. Материально-техническая база, необходимая для осуществления образовательного процесса по дисциплине

<i>Наименование специализированных аудиторий, кабинетов, лабораторий</i>	<i>Вид занятий</i>	<i>Наименование оборудования, программного обеспечения</i>
1	2	3
Учебная аудитория № 218 (физмат корпус-учебное).	Лекции	<p align="center">Наименование оборудования</p> <p>Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, кондиционер(сплит-система) Haier HSU-24HEK203/R2- HSU-24HUN03/R2, экран настенный с электроприводом ClassicLyra 203x203 (E195x195/1 MW-L8/W), ноутбук HPMini 110-3609er Atom N455/2/250/WiFi/BT/Win7St/10.1"/1.29кг, проектор BenQ MX520 (9H.J6V77. 13E/9H.J6V77.13F).</p> <p align="center">Программное обеспечение</p> <p>1. Windows 8 Russian. OLP NL OLP NL AcademicEdition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные. №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>2. Windows Professional 8 Russian. OLP NL AcademicEdition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>3. Microsoft Office Standart 2013 Russian. OLP NL OLP NL AcademicEdition. Договор №114 от 12.11.2014 г. Лицензии бессрочные.</p>
Аудитория № 425 компьютерный класс (физмат корпус-учебное).	Лабораторные работы	<p align="center">Наименование оборудования</p> <p>Учебная мебель, учебно-наглядные пособия, компьютер в составе: SOC -1150 AsusIntelCore i3-4150.4096 mb.1024 mb.64bit DDR3.монитор 23, клавиатура,мышь, кондиционер (сплит-система)Haier HSU-18HEK203/R2-HSU-18HUN03/R2, копировальный аппарат Canon FC-230, персональный компьютер в комплекте №1 KlamaSoffice, монитор DELL 21 - 8 шт., принтер HP LaserJet 1220 лазерный A4 (принт+копир+сканер), принтер Samsung ML-1750 лазерный (A4, 16 стр/мин, 1200*600dpi, LPT/USB 2.0), проектор BenQProjectorPB7.210 (DIP,1024*768, D-sub, RCA, S-Video,Component, USB), системный блок компьютера Celeron 315-2.26/s478 EliteGroup P4M800-M/256Mb/80Gb/3.5"/CD-ROM/ATX, шкаф лабораторный ШЛ-06 МСК 900*500*1850 2-х створчатый верх-стекло, низ-металл</p> <p align="center">Программное обеспечение</p> <p>1. Windows 8 Russian. OLP NL OLP NL AcademicEdition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные. №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>2. Windows Professional 8 Russian. OLP NL AcademicEdition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>3. Microsoft Office Standart 2013 Russian. OLP NL OLP NL AcademicEdition. Договор №114 от</p>

		<p>12.11.2014 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>4. Права на использование Roxar software. Лицензия № RU 970297-A</p> <p>5. Лицензионный договор № 100017/02314Д от 16.06.2017 г. Бессрочно.</p>
<p>Читальный зал №2, аудитория № 406 компьютерный класс (физматкорпус-учебное), система централизованного тестирования БашГУ</p>	<p>Самостоятельная работа</p>	<p>Наименование оборудования</p> <p>Читальный зал №2</p> <p>Научный и учебный фонд, научная периодика, Wi-Fi доступ мобильных устройств, неограниченный доступ к ЭБС и БД; количество посадочных мест – 50</p> <p>Аудитория №406</p> <p>Учебная мебель, доступ в интернет, Компьютер в составе: SOC -1150 AsusIntelCore i3-4150.4096 mb.1024 mb.64bit DDR3.монитор 23, клавиатура,мышь – 4 шт.; Кондиционер(сплит-система) Haier HSU-24HEK203/R2- HSU-24HUN03/R2 210136000003093, МФУ Kyocera V2030 DN 210134000003069; Персональный компьютер в комплекте № 1 iRUCorp – 6 шт.</p> <p>Программное обеспечение</p> <p>1. Windows 8 Russian. OLP NL OLP NL AcademicEdition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные. №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>2. Windows Professional 8 Russian. OLP NL AcademicEdition. Договор №104 от 17.06.2013 г. Лицензии бессрочные.</p> <p>3. Microsoft Office Standart 2013 Russian. OLP NL OLP NL AcademicEdition. Договор №114 от 12.11.2014 г. Лицензии бессрочные.</p>

**ФГБОУ ВО «БАШКИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
ФИЗИКО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ**

СОДЕРЖАНИЕ РАБОЧЕЙ ПРОГРАММЫ

дисциплины Численное моделирование в геомеханике на 7-8 семестры
(наименование дисциплины)
очная
форма обучения

Вид работы	Объем дисциплины
Общая трудоемкость дисциплины (ЗЕТ / часов)	4/144
Учебных часов на контактную работу с преподавателем:	72,4
лекций	32
практических/ семинарских	
лабораторных	40
других (групповая, индивидуальная консультация и иные виды учебной деятельности, предусматривающие работу обучающихся с преподавателем) (ФКР)	0,4
Учебных часов на самостоятельную работу обучающихся (СР)	71,6
Учебных часов на подготовку к экзамену/зачету/дифференцированному зачету (Контроль)	

Форма(ы) контроля:
зачет 7-8 семестр

№ п/п	Тема и содержание	Форма изучения материалов: лекции, практические занятия, семинарские занятия, лабораторные работы, самостоятельная работа и трудоемкость (в часах)				Задания по самостоятельной работе студентов	Форма текущего контроля успеваемости (коллоквиумы, контрольные работы, компьютерные тесты и т.п.)
		ЛК	ПР/СЕМ	ЛР	СР		
1	2	3	4	5	6	8	9
1.	Введение в геомеханику. Связь геомеханики с другими науками. Краткая история о развитии геомеханики.	4			3	Повторить/ изучить материал	Опрос
2.	Геомеханические модели породного массива. Упругая модель породного массива.	4		4	8	Повторить материал	Опрос. Лабораторная работа
3.	Упруго-пластические модели породного массива.	4		4	10	Повторить материал	Лабораторная работа
4.	Реологические модели породного массива.	4		4	10	Повторить материал	Лабораторная работа
5.	Модель дискретной зернистой среды для породного массива.	4		6	10	Повторить материал	Лабораторная работа
6.	Основные положения теории подобия. Метод центробежного моделирования.	4		6	10	Повторить материал	Лабораторная работа
7.	Метод эквивалентных материалов. Поляризационно-оптический метод.	4		6	10	Повторить материал	Лабораторная работа
8.	Численные методы в геомеханике. Метод конечных элементов. Метод граничных элементов.	4		10	10,6	Повторить материал	Лабораторная работа
Всего часов:		32		40	71,6		

Рейтинг – план дисциплины

Численное моделирование в геомеханике

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

специальность 03.03.01 Прикладные математика и физикакурс 4, семестр 7

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 1			0	43
Текущий контроль				
1. Лабораторная работа	5	5	0	25
Рубежный контроль				
1. Опрос	6	2	0	18
Модуль 2				
Текущий контроль				
1. Лабораторная работа	5	4	0	20
Рубежный контроль				
1. Опрос	6	2	0	12
Поощрительные баллы				
1. Участие в конференциях, публикация статей	10	1	0	10
Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)				
1. Посещение лекционных занятий			0	-6
2. Посещение практических (семинарских, лабораторных занятий)			0	-10
Итоговый контроль				
1. Зачет				

Рейтинг – план дисциплины

Численное моделирование в геомеханике

(название дисциплины согласно рабочему учебному плану)

специальность 03.03.01 Прикладные математика и физикакурс 4, семестр 8

Виды учебной деятельности студентов	Балл за конкретное задание	Число заданий за семестр	Баллы	
			Минимальный	Максимальный
Модуль 3			0	39
Текущий контроль				
1. Лабораторная работа	5	3	0	15
Рубежный контроль				
1. Опрос	6	4	0	24
Модуль 4				
Текущий контроль				
1. Лабораторная работа	5	4	0	20
Рубежный контроль				
1. Опрос	6	4	0	24
Поощрительные баллы				
1. Участие в конференциях, публикация статей	10	1	0	10
Посещаемость (баллы вычитаются из общей суммы набранных баллов)				
3. Посещение лекционных занятий			0	-6
4. Посещение практических (семинарских, лабораторных занятий)			0	-10
Итоговый контроль				
1. Зачет				20